

急傾斜地崩壊危険箇所のデータベース構築と安定性評価に関する研究

長崎大学大学院工学研究科

石田 純平

近年、地球温暖化に起因したと考えられる異常気象や、梅雨期の集中豪雨により、急傾斜地の崩壊、土石流または地すべりといった土砂災害が全国で数多く発生している。平時安定している斜面であっても、豪雨による雨水浸透により崩壊が危惧される斜面は多数存在している。土砂災害による被害を減じるためには、斜面の崩壊危険度を算出し、その危険箇所に対する砂防堰堤・擁壁等のハード対策が有効である。しかしながら、このようなハード対策はその対象箇所の多さと経済的な面から対策が思うように進んでいないのが現状である。そこで、本論文では、これまで行われてきた紙面による急傾斜地崩壊危険箇所の点検に用いた防災カルテを基に、デスクトップ PC やタブレット PC に点検結果を入力できる調査票を作成し、それらの点検により得られたデータを管理する急傾斜地防災データベースを構築した。また、有限差分法による二次元斜面安定解析により、急傾斜地崩壊の素因に着目した安定性評価により、急傾斜地崩壊危険箇所の点検結果から、対象斜面の有する安定性を評価する指標の作成を行った。さらに、崩壊危険度の高い斜面に関しては、風化や降雨といった崩壊の誘因に着目した安定性評価が必要と考え、高精度数値標高データを利用した詳細な三次元斜面安定解析や、降雨時の斜面の安定性を評価するため、気液二相流による応力浸透流連成解析を実施した。

本論文の構成と内容は以下の通りである。

第 1 章は序論で、現状の急傾斜地崩壊危険箇所の管理および対策優先順位決定の重要性について述べ、本論文の構成をまとめた。

第 2 章では、急傾斜地崩壊危険箇所の防災のために実施されている①斜面防災データベースおよび対策優先度決定に関する既往の研究、②斜面安定解析手法に関する既往の研究、③三次元斜面安定解析に関する既往の研究、④降雨時の斜面の安定性評価に関する既往の研究について、それぞれレビューを行い、現状の問題点をまとめ、本研究の位置付けを行った。

第 3 章では、まず、本研究で用いている有限差分法解析の概要について述べた。次に、本研究において、主に急傾斜地の安定性評価に用いている、せん断強度低減法の概要を述べ、その適用事例を示し、本手法によって斜面の全体安全率の評価ができ、計算結果から臨界すべり面を推定することが可能であることを示した。また、高精度数値標高データを

用いて、三次元数値解析モデルを作成する手順を示した。さらに、三次元数値解析モデルを用いた斜面安定解析により、解析対象領域内で地形条件による崩壊の危険性が高い箇所を抽出できることを確認した。

第4章では、既存の防災カルテを基に、タブレットPCで調査結果を入力できる調査票を作成し、調査結果を管理するためのデータベースを構築し、その機能について述べた。また、せん断強度低減法により、風化土層厚、斜面高さ、傾斜角および強度定数をパラメータとしたケーススタディの実施により、各条件の急傾斜地が有する安全率の算出を行い、グラフ化することで、安定性を視覚的に判断することができる指標の提案を行った。

第5章では、国道沿いの急傾斜地を対象に、高精度数値地形データを用いて作成した三次元数値解析モデルの表面に風化土層を設けた解析モデルを作成し、地表面の風化の影響を考慮した急傾斜地の安定性評価を実施した。解析結果より、風化土層内もしくは、基盤岩と風化土層の境界付近ですべり面が生じると考えられ、安定性評価の精度向上には、詳細な調査を行った上で解析を実施する必要があると述べた。

第6章では、降雨による急傾斜地の崩壊危険度の評価を行うため、二相流解析による応力-浸透流連成解析を実施した。まず、間隙空気の影響を考慮した斜面の二相流解析の妥当性を検証するため、一次元浸透流模型装置を用いた一次元浸透流実験と、室内斜面模型を用いた斜面内浸透流模型実験を実施し、実験結果と解析結果の比較を行った。浸潤面が計測点に到達した際に、急激に間隙圧が上昇する傾向が一致しており、サクションが消失する時間についても、ほぼ同等の時間となっていることから、概ねの浸透挙動の再現性を確認した。また、過去に斜面災害が発生した現場の再現解析を実施し、斜面の崩壊箇所近傍で間隙水圧および間隙空気圧が増大し、これらが有効応力を減少させることが斜面の不安定化を引き起こす要因の一つとなることを確認した。

第7章では、本研究の結論を述べた。

Study on Database Construction and Stability Evaluation for the Steep Slope

Graduate School of Engineering, Nagasaki University

Ishida Jumpei

In recent years, localized torrential rain caused by unusual weather happens frequently. Torrential rainfall triggered numerous sediment disasters. There are many slopes that may be collapsed by rain water infiltration. In order to reduce the damage caused by sediment disasters, it is better to calculate the failure risk of slopes. In addition, it is effective to build erosion control dams or retaining walls. However, countermeasure works is not sufficiently performed, because there were many steep slopes that have potential of failure. In this study, the check list of steep slopes for desktop PC or tablet PC was made. It is based on the check list of paper which is used in checking the steep slope. The Database which manages the data obtained by checking the steep slope was created. In addition, a slope failure risk assessment index was created by 2-dimensional slope stability analysis based on the finite difference method (FDM). Furthermore, 3-dimensional slope stability analysis based on the high accurate digital elevation data and the stress-flow analysis based on two-phase flow analysis were performed.

The structure and contents of this paper is described below.

In Chapter 1, the importance of management of steep slope and measure priority decisions has been described. In addition, background of this study was introduced.

In Chapter 2, (i) Previous study on slope disaster prevention database and prioritization of measures, (ii) Previous study on slope stability analysis method, (iii) Previous study on three dimensional slope stability analysis and (iv) Previous study on slope stability during rainfall were reviewed. Further, the problems are summarized and the position of this study was implemented.

In Chapter 3, overview of finite difference method (FDM) was described. Furthermore, overview of shear strength reduction method (SSRM) was described. From the calculation result, it is shown that the safety factor of slope can be evaluated and it is possible to estimate the critical slip plane by SSRM. 3-dimensional numerical analysis model was created using a digital elevation data obtained by airborne laser measurement. Detailed 3-dimensional slope stability analysis was performed using this 3-dimensional model. It was confirmed that the points with high risk of failure due to topographic conditions were extracted within the analysis target area.

In Chapter 4, the checklist of steep slope for tablet PC was made. Furthermore, the database for managing checking results was constructed. Parameter studies were performed with changing slope heights, slope angles, surface layer thickness and strength by shear strength reduction method (SSRM). Factor of safety in each condition were calculated by SSRM. Factor of safety in each conditions were displayed on the graph. As a result, factor of safety of the slope is visually determined.

In Chapter 5, in order to confirm effect of weathering on the stability of slope, a 3-dimensional analytical model with a weathered soil layer for steep slopes along road was created. The slope stability analysis was performed using this model. From the analysis results, it is considered that slip planes occur in weathered soil layer or near the boundary between base rock and weathered soil layer. Therefore, in order to improve accuracy of the stability evaluation, it is necessary to perform the analysis after conducting detailed investigation.

In Chapter 6, the stress-flow analysis was performed by two-phase flow for failure risk assessment during rainfall. The reproducibility of the two-phase flow analysis was verified by performing the reproducible analysis of 1-dimensional flow model test and the slope model test. About the results of analysis, tendency of increased pore pressure when infiltration surface reaches measure points are similar. In addition, the time that suction has disappeared is almost the same. Therefore, it is considered that seepage behavior is reproduced roughly by two-phase flow analysis. In addition, the reproducible analysis of slope failure site was performed by stress-flow analysis. As a result, the pore water pressure and the pore air pressure increased near the failure points during torrential rainfall, in consequence, it caused the decrease of the effective stress. Hence, these were confirmed to be one of the factors that caused slope failures.

In Chapter 7, conclusions of this study were summarized.